

臺灣山脈地形對大氣強制作用所造成的波動現象

劉明禮

中央氣象局退休人員

摘要

本研究共分三個主題：臺灣山脈地形效應所造成的折射現象—颱風過山、缺口型山脈地形所造成的繞射現象—焚風和隆冬季節的繞山運動—落山風。

(一)臺灣山脈地形對於強烈擾波或熱帶氣旋所造成的折射現象，造成擾波進入南北走向的臺灣山脈時，行進方向會向著垂直山脈走向方向偏移；反之，在越過山脈後行進方向將偏離垂直山脈走向。本研究裡擷取三個颱風，它們的移行路徑，分別為掠過臺灣北部山脈的卡玫基(2008年9月)，掠過臺灣中部山脈的聖帕(2007年8月)及掠過臺灣南部山脈的凱米(2006年7月)它們都有明顯的折射現象，其中北部山脈的東西向寬度較小，所以偏折作用影響的路徑較短。

(二)對於臺東的焚風現象以及它的生成條件(劉；2008)，本論文認為：對於垂直發展旺盛的梅雨鋒面及颱風擾波的規模尺度，近似於山脈缺口尺度，將有利於繞射現象發生，如此則擾波在通過山脈缺口後的中央部份，明顯增強其擾波的強度，即風力增強、大氣密集，有利於背風面焚風發展。

(三)秋冬季節裡，臺灣南端盛行東北季風型的落山風；氣象資料顯示大陸東南部近海氣壓梯度明顯呈現是造成落山風的重要因素之一。當東北季風自臺灣東海岸沖入南臺灣陡降的地形時，被迫做繞山運動，它和彎管流(封閉型)在流體動力作用上恰好相反，即流體的繞山作用(開放型)造成距離圓心較遠、半徑較大的區域壓力較小，風速將被加速，因此造成在臺灣最南端、較為平坦的枋山—楓港—恆春一帶，落山風較為劇烈。

關鍵詞語：KALMAEGI(卡玫基)；SEPAT(聖帕)；KAEMI(凱米)；

a curved pipe streams：彎管流

一、前言

流體動力學理論，導入擾波理論及尺度分析，再加上數值模擬，讓我們能明確檢驗擾波演變的整個過程是相當有效的運作方式，雖然理論動力氣象學中的大尺度波動在天氣圖上的表現難以分辨，但是大尺度的冷熱源及地理分佈對大氣所構成的力學強制作用在實際天氣圖上是明顯的，當然也深深影響我們的生活。中小尺度的天氣現象通常明顯而且劇烈是常有的事，數值模式爭議性的主軸在於時間間隔緊縮、數據的取得及信賴度，又當過度計算，使邊界值因誤差快速模糊，逐漸失焦；近年來的觀測技術演進是令人欣慰的，但是與數值模擬的檢驗配合仍有待努力。引入波動理論，在於簡化整個過程，取得物理學上明確的結果顯現，應為一種有效的處理方式。

二、臺灣山脈地形對天氣擾波所造成的強制作用

(一)強烈擾波或熱帶氣旋波通過臺灣山脈的折射現象

本論文中所擷取的 Typhoon 軌跡，取材自中央氣象局的颱風資料庫：〈1〉2008年7月卡玫基(KALMAEGI)颱風(圖一)17日~18日通過臺灣北部山區〈2〉2007年8月18日掠過臺灣中部的聖帕(SEPAT)颱風(圖二)〈3〉2006年7月24日~25日掠過臺灣南

部的凱米(KAEMI)颱風(圖三)。本論文中所擷取的三個 Typhoon 掠過臺灣的路徑都是東南→西北走向，在碰觸臺灣山脈時即有偏南的轉向，並且在離開臺灣時路徑又有偏北轉向，之後的行徑幾乎與原來由東岸進入臺灣山脈的行徑平行。流體動力學上的折射現象，最明顯而典型的是水波槽實驗裡的脈動波通過不同深度的水槽時，發生折射現象；在海洋動力學中，近岸海浪波動，因為海水深度逐漸淺化，海浪的移行方向逐漸向淺水區域偏折，所以在到達近岸時海浪的波形幾乎與海岸線平行，這是非常典型的折射現象。臺灣的山脈地形呈南北走向，法線方向為東西走向，折射現象中的擾波越過山脈障礙時，將向著法線方向偏折，因此西北走向的擾波通過山脈障礙，擾波因為大氣流體層的淺化、密度加強而偏折向南，在離開臺灣時擾波密度減低，路徑偏離法線，所以向北偏折回復至平行於原來的移行方向。進入臺灣北部、中部、南部山區而出海的折射現象中，因為北部山脈東西寬度較小，偏折作用路徑在臺灣內陸時已明顯減弱，這些特徵的明顯的呈現是因為山脈地形對強烈擾波的折射作用。從警報單上的颱風軌跡都明顯的呈現步入臺灣山脈時的向南偏折，以及離開臺灣時的向北偏折路徑，並且幾乎與進入臺灣時的路徑平行，這是極為典型的折射現象。

(二)擾波通過缺口型山脈地形所造成的繞射

現象

臺東地區的焚風現象是眾所周知的，作者在研究臺東地區焚風現象（劉；2008）時，對於焚風的生成機制已有論述：天氣擾波因為水平壓縮而造成渦旋度強化及垂直向上伸展、加上山脈間缺口及缺口的縱向短、位處背風面下降風區不遠處都是構成焚風肆虐的構成重要因素。中央山脈主脊在標高 3295 公尺的卑南主山後，脊梁陷落 500-1000 公尺，起伏蜿蜒 70 餘公里後，才又隆起標高 3092 公尺的北大武山，當遇到垂直向上發展旺盛強烈擾波越過此山區缺口時，波長在百公里左右的中小尺度擾波：如橫越臺灣山脈的梅雨鋒面及颱風等，則容易發生繞射現象，造成出口時擾波密度將集中於中央部份，風速增大而且大氣密集，有利於背風面重力波及風速的增強，或焚風的發展。

（三）恆春的落山風

在恆春縣志上有一段先民們對落山風的描述，其內容簡述如下：『自重陽以至清明，東北大風，俗謂之落山風。晝夜怒號，或三、四日一發，或五六日不止。海上行舟視為畏途。…晚禾將熟，農家每齊其根而偃之，俾不受風，故生氣不順，收成減色，其陰害夫農商者，實非淺顯。』

〈1〉2007 年 11 月 1 日至 7 日恆春落山風的天候特徵

2007 年 11 月 1 日中午過後恆春測站的平均風速（表一）快速增強，到晚上八點以後已達 10m/s 左右；瞬間最大陣風（表二）從白天開始增強，傍晚以後，最大陣風則在 20m/s 以上。11 月 2 日及 3 日的平均風速為 9.6m/s、8.4m/s，2 日以及 3 日的午後到晚上的最大陣風幾乎都在 20m/s 以上。11 月 4 日至 5 日的平均風速維持在 7.0m/s 與 6.7m/s，但 6 日至 7 日再增強至 10.7m/s 及 9.4m/s，一直到 8 日才又減弱為 4.4m/s 的日平均風速值；在最大陣風（瞬時風速）方面，11 月 4 日的很多時候，最大陣風都在 20m/s 以上，這種情形在 5 日稍見緩和，除了早上以外都在 20m/s 以下；6 日凌晨起最大陣風開始又增強至 20m/s 以上，6 日深夜至 7 日凌晨的最大陣風更達到 30m/s 左右，之後逐漸減弱，直到 7 日晚上，最大陣風才降為 20m/s 以下。1 至 2 日的風向則在風速增強以後盛行 30°~60°之間的東北風，溫度約降 1°~2°C 在 23°~26°C 之間，相對濕度下降約 10%、在 60~70%；這種典型的落山風天氣，風向則盛行 30°~60°的東北風。以小區域分佈而言，則臺灣南端地區的落山風是以最南地段的枋山—楓港—恆春一帶為最。

2007 年 11 月 1 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖四）顯示，整個大陸地區為冷高壓所籠罩，大陸冷高壓向東南伸展部份的等壓線與大陸東南部海岸線近乎平行，又在日本北方和菲律賓東方外海低壓活躍，有利於大陸冷高壓向東向外海伸展；11 月 2 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖五）顯示大陸冷高壓在 30°N~40°N 區間

向外海伸展；雖然大陸東南部的冷高壓強度已減弱，但在大陸東南部近海的壓力梯度明顯增強。11 月 3 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖六）裡，大陸西北方冷高壓向東南移行後，發展於大陸北部及東北部地區，而且也向大陸南部發展。11 月 4 日 00Z 及 11 月 5 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖七、圖八）突顯大陸冷高壓在 30°~50°N 之間向外海向東伸展；11 月 6 日 00Z、11 月 7 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖九、圖十）顯示整個大陸地區冷高壓仍然活躍，但已因為向外海擴展的結果而明顯減弱。在 11 月 6 日 00Z 區域地面天氣圖（圖十二）裡，臺灣南方、菲律賓及其近海有一熱帶低壓發展且向西移行，此一低壓風暴加強了臺灣南端的氣壓梯度，增強了恆春地區的東北風強度。11 月 8 日 00Z 亞洲地面天氣圖（圖十一）顯示，臺灣南方低壓向西移去，大陸冷高壓減弱後，此種天氣型態造成恆春的東北風快速減弱，直到 11 月 11 日~12 日，另一波大陸冷高壓再度南下發展時，恆春的落山風又再度增強。

〈2〉繞山運動機制

中央山脈南段的北大武山緯度上，臺灣本島的寬度只有 77 公里，其西側有寬約 37 公里的高屏平原，她是一座在 40 公里的跨距內驟然拔起三千公尺的獨立山峰，而在她的南方更是一路連連 80 公里直奔貓鼻頭入海。此種地形向南陡降的特徵（Ludwig Prandtl），造成台灣東岸近海的東北季風沖入此區域時，被迫做繞山運動。從天氣圖資料分析得知，大陸東南部近海等壓線密集呈現是造成恆春落山風的重要因素。

在封閉型的彎管流裡，流體因為彎管的強制彎曲運動，而產生相對彎管中心的離心力，因為封閉而且穩態的流體動力結構，則將產生反向的壓力梯度制衡，在管內較大半徑區域的壓力大於較小半徑區域的流體，或者較大半徑區域的彎管流體速率小於較小半徑區域的彎管內流體的流速。而繞山運動則屬於開放型的彎曲運動，則流體的離心力呈現於流體動力學中的壓力梯度，即離圓心較近、半徑較小區域流體壓力較大、流速較小；反之，離圓心較遠的半徑較大區域壓力較小、流速較大。所以落山風在南臺灣最南地段、較為平坦的枋山—楓港—恆春一帶較為劇烈。

三、結論

（一）本研究從中央氣象局颱風資料庫所擷取的三個颱風卡玫基、聖伯及凱米，分別掠過臺灣的北部、中部及南部山區，颱風的軌跡都是從東南朝著西北方向，也都呈現：進入臺灣時，颱風走向偏南，離開臺灣時再偏北，回到與進入臺灣時幾乎平行的方向路徑。這是典型的折射波動現象。

（二）強烈的渦旋波向上伸展且越過山脈，在背風面形成沉降而強勁的暖風是焚風的重要機制，本文針對卑南主峰及北大武山間近 70 公里南北走向凹陷的缺口山區，認為近百公里的梅雨鋒面波及颱風擾波通

過缺口時，因為擾波波長與缺口寬度相近造成繞射的波動現象，結果擾波通過缺口山區時，擾波中央部份加深，流體的流速及密度激增，有利於背風面焚風生成。

(三) 從 2007 年 11 月 1 日~8 日中央氣象局氣候資料分析所得，恆春落山風盛行東北風，風速高達 10m/s 瞬間最大風速達 20m/s~30m/s，溫度及濕度微降；大陸東南部近海氣壓梯度明顯呈現是造成恆春落山風的重要因素。當東北季風沖入臺灣南端陡降的地形時，被迫作繞山運動，在流體動力學上相反於封閉型彎管流，開放型的繞山運動，造成離圓心較近的區域壓力較大、流速變小；離圓心較遠區域壓力較小、流速增大。所以落山風以最南端、較為平坦的枋山、楓港到恆春一帶最為劇烈。

四、感言與致謝

本研究中的折射現象是許多年來的理念，卻因為觀測資料不夠明確而難以確認。感謝中央氣象局徐辛欽技正及資料處理科同仁的協助，對於本研究工作

提供充裕的資料，於此深表謝忱。本論文裡參考了一些登山社團、Bike 社團以及鄉土調查社團的資料，這是做區域氣候動力學研究很好的資料，但都未列入本研究的參考文獻，也於此深表謝忱。因為秋冬季節的東北風，而有頗負盛名的“九降風”及“落山風”，令我連想起閩南地區早年很出名的港口：廈門和鹿港，長年居住在此地的人共同的特徵是“海口腔”，這也是在臺灣西部沿岸成長的每一個人幾乎終身無法改變的“胎記”，這是風造成的嗎？

五、參考文獻

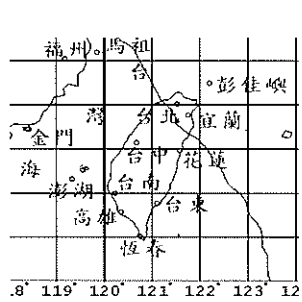
1. 交通部中央氣象局颱風資料庫
2. 劉明禮,2008：“台灣地區焚風之研究(I)”,天氣分析與預報研討會論文集編,交通部中央氣象,319-322.
3. Goldstein,S.,1950. Modern Developments in Fluid Dynamics, Vol. I,chapter I&II, Oxford University Press.

11/1 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	2.8/10	2.0/10	2.7/10	2.8/10	0.9/280	0.0/0.0	0.1/0.0	1.8/350	3.2/30	3.7/40	4.6/50	4.7/20	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	5.9/50	4.5/30	7.2/40	6.5/30	7.2/40	8.9/40	8.3/40	10.6/40	10.7/50	9.0/40	10.7/40	6.6/30	5.2
11/2 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	8.6/40	9.9/50	8.7/40	9.1/40	9.1/40	9.9/50	10.7/50	7.8/40	9.7/50	12.2/50	10.5/40	9.2/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	8.4/40	8.6/30	10.5/50	11.2/50	11.1/50	10.4/50	8.9/40	10.3/50	8.4/40	10.2/50	8.8/40	8.0/40	9.6
11/3 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	9.5/50	7.2/40	6.5/40	6.3/30	7.2/40	8.6/40	7.1/40	9.1/40	9.6/50	7.9/50	8.0/50	8.4/50	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	7.5/40	8.5/50	8.3/50	8.9/50	10.4/40	10.9/50	10.9/50	6.1/30	7.0/30	7.6/40	9.4/50	10.7/50	8.4
11/4 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	10.9/50	7.4/40	9.8/50	5.7/30	8.3/40	6.8/40	7.0/40	5.0/30	7.8/30	5.2/30	5.6/10	4.3/30	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	7.8/40	7.5/40	7.4/30	8.8/40	6.3/30	7.1/30	4.8/20	5.4/30	6.2/20	7.6/40	9.3/40	5.2/20	7.0
11/5 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	6.5/20	5.0/20	6.5/20	6.0/10	4.9/10	4.8/20	9.6/40	9.7/40	8.7/40	8.0/40	7.0/50	6.7/50	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	6.7/40	7.0/30	8.1/40	5.3/40	6.3/30	3.5/10	5.2/20	6.1/30	7.6/50	8.0/50	6.2/40	8.4/50	6.7
11/6 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	9.6/50	8.4/40	7.4/50	9.9/40	11.0/50	8.8/40	9.6/50	10.0/50	11.6/40	11.2/50	9.9/50	8.2/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	9.1/40	8.0/30	10.8/40	12.1/50	12.3/50	12.9/50	12.9/50	9.9/50	13.2/50	11.8/50	14.4/50	12.6/50	10.7
11/7 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	11.6/50	11.1/50	13.9/50	11.8/50	12.2/60	12.1/60	11.0/50	10.0/60	9.3/60	13.7/40	11.0/40	8.2/50	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	7.8/50	11.1/50	9.4/60	8.0/50	9.8/40	7.4/60	7.3/50	9.5/50	6.1/50	6.8/40	4.8/40	2.7/30	9.4
11/8 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	4.6/20	7.9/50	6.8/50	3.7/40	2.8/50	7.2/50	6.5/70	4.7/50	5.8/70	5.8/60	6.8/70	6.0/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	平均值
風速/風向	5.7/60	3.2/30	2.2/30	2.2/40	0.8/100	0.9/90	2.0/60	3.5/70	5.0/80	4.6/70	3.4/60	3.1/70	4.4

表一：中央氣象局 逐時氣象資料測站：恆春經度：120°44' 17" E 緯度：22°00' 20" N：平均風風速(m/s)/風向(360°)

11/1 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	6.7/50	5.5/360	6.3/20	5.5/20	4.3/10	1.6/290	1.9/290	4.7/350	9.0/20	9.1/30	9.7/80	10.3/20	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	13.9/20	12.1/70	14.7/30	18.1/40	20.3/40	23.0/50	19.4/60	21.1/30	26.5/50	23.0/50	24.1/50	21.8/50	
11/2 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	21.0/60	21.1/50	21.3/50	22.7/50	23.2/50	19.3/60	24.9/50	22.0/30	24.6/30	26.9/50	25.6/50	23.8/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	21.1/50	21.6/60	22.9/30	23.1/40	25.7/60	23.6/60	22.2/60	21.0/60	19.7/50	22.6/40	22.3/50	19.4/30	
11/3 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	19.8/50	18.3/60	15.6/50	15.1/30	15.5/40	21.5/50	18.6/80	20.7/50	19.6/40	19.2/50	19.8/40	19.6/50	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	17.9/50	19.4/40	20.1/50	19.3/40	21.1/40	21.6/70	23.4/60	22.3/30	14.8/10	17.5/10	18.2/30	22.9/50	
11/4 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	24.6/50	25.9/30	22.2/40	21.5/50	17.4/50	20.3/30	18.9/0	20.0/30	19.6/50	21.5/20	17.2/10	16.4/30	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	17.0/10	19.1/50	19.7/10	20.5/40	22.2/50	17.4/90	21.4/50	15.3/60	18.9/20	20.6/60	23.0/60	20.8/50	
11/5 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	15.6/40	18.1/0	14.9/10	17.1/20	13.1/0	11.7/20	17.7/50	20.8/50	21.4/40	20.9/50	17.8/50	21.1/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	16.3/50	17.3/50	16.7/30	16.4/50	15.9/30	14.9/20	11.5/40	13.5/70	15.2/10	16.6/50	17.6/40	19.1/40	
11/6 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	18.1/40	22.8/40	19.0/50	21.0/50	26.9/40	21.4/60	23.1/40	22.4/60	22.4/60	25.2/40	24.8/50	20.9/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	23.7/40	18.9/40	22.0/40	24.5/40	25.6/20	28.8/40	29.0/50	24.6/40	30.0/40	28.9/30	30.3/40	29.0/50	
11/7 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	30.2/40	29.3/50	31.3/40	30.3/40	25.8/50	32.3/40	27.3/50	27.8/30	25.0/60	29.4/50	29.0/50	25.4/60	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	21.2/70	24.1/70	23.0/50	22.6/60	19.6/40	19.7/40	20.8/50	22.1/50	22.2/70	13.9/50	14.6/80	12.5/70	
11/8 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
風速/風向	10.2/10	18.6/40	19.0/50	14.5/80	9.6/30	15.5/60	14.6/40	15.8/40	14.1/80	15.8/80	14.6/40	14.5/40	
時間	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
風速/風向	15.0/40	12.4/40	8.4/360	6.2/30	4.9/100	6.3/40	5.3/220	10.0/60	10.8/60	10.4/90	13.4/60	12.3/70	

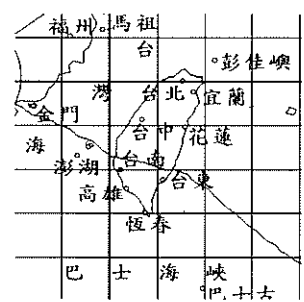
表二：中央氣象局 逐時氣象資料測站：恆春 經度：120°44' 17" E 緯度：22°00' 20" N：最大瞬間風風速(m/s)/風向(360°)



圖一：2008年7月中度颱風卡玫基(KALMAEGI)路徑圖



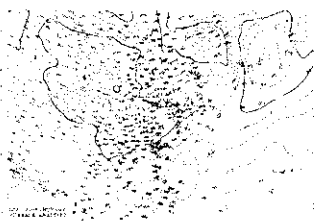
圖二：2007年8月強烈颱風聖帕(SEPAT) 路徑圖



圖三：2006年7月中度颱風凱米(KAEMI) 路徑圖



圖四：11月1日00Z
亞洲地面天氣圖



圖五：11月2日00Z
亞洲地面天氣圖



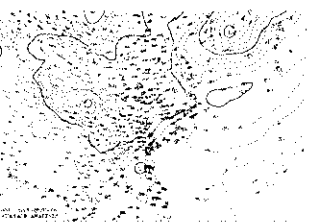
圖六：11月3日00Z
亞洲地面天氣圖



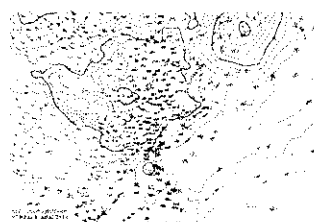
圖七：11月4日00Z
亞洲地面天氣圖



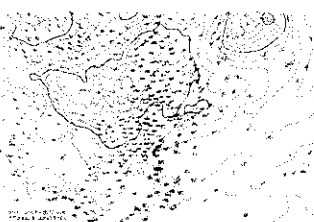
圖八：11月5日00Z
亞洲地面天氣圖



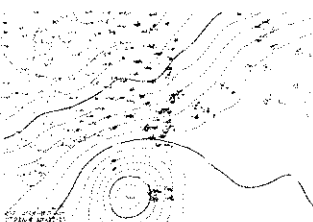
圖九：11月6日00Z
亞洲地面天氣圖



圖十：11月7日00Z
亞洲地面天氣圖



圖十一：11月8日00Z
亞洲地面天氣圖



圖十二：11月6日00Z
區域地面天氣圖

口頭報告

住址:臺北縣中和市圓通路 296 巷 2 弄 17 號

電話:02-22457006 手機:0917770103

Email address: q03041951@yahoo.com.tw